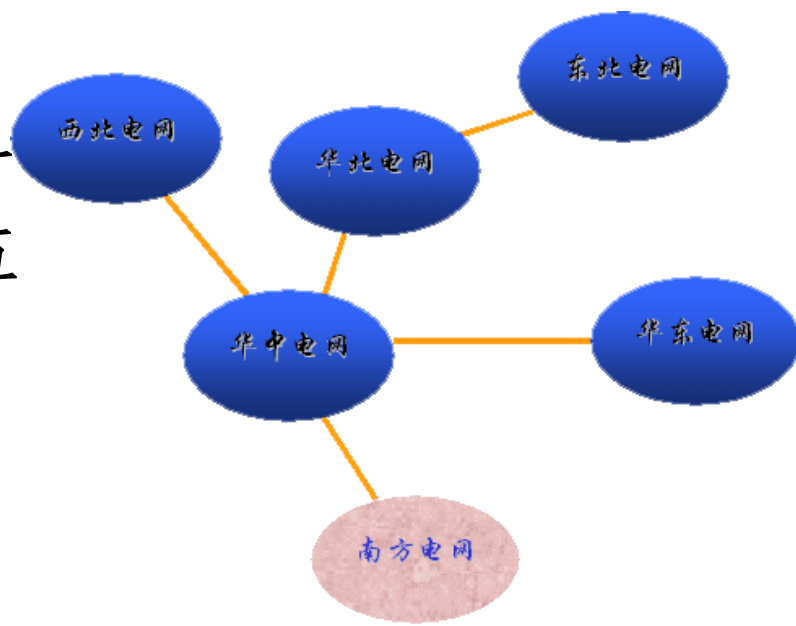




第二章 电路基本定律与计算 关于电阻、电感、电容的网络

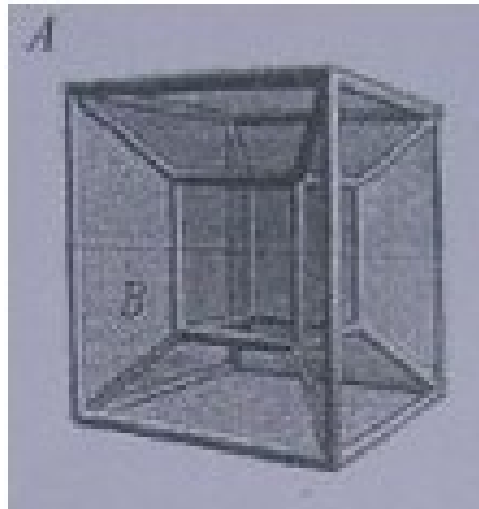
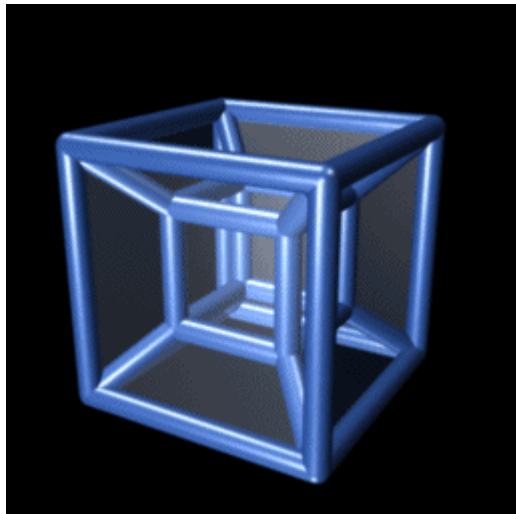
电网是什么？

- 通常把由输电、变电、配电设备及相应的辅助系统组成的联系发电与用电的统一整体称为电网。
- 我国的电网公司**2002.12.29**:
 - 中国国家电网公司
 - 中国南方电网有限责任公司---广东、广西、云南、贵州和海南五省（区）
- 电网正常运行中最基本的问题



计算等效电阻(equivalent resistance)

- 如图所示的电阻框架为四维空间中的超立方体在三维空间中的投影模型（可视为内外两个立方体框架，对应顶点互相连接起来），若该结构中每条棱均由电阻**R**的材料构成，则**AB**节点间的等效电阻为？



混联计算不容易！

$$\frac{7}{12}R$$

学习电路分析很重要！

内容

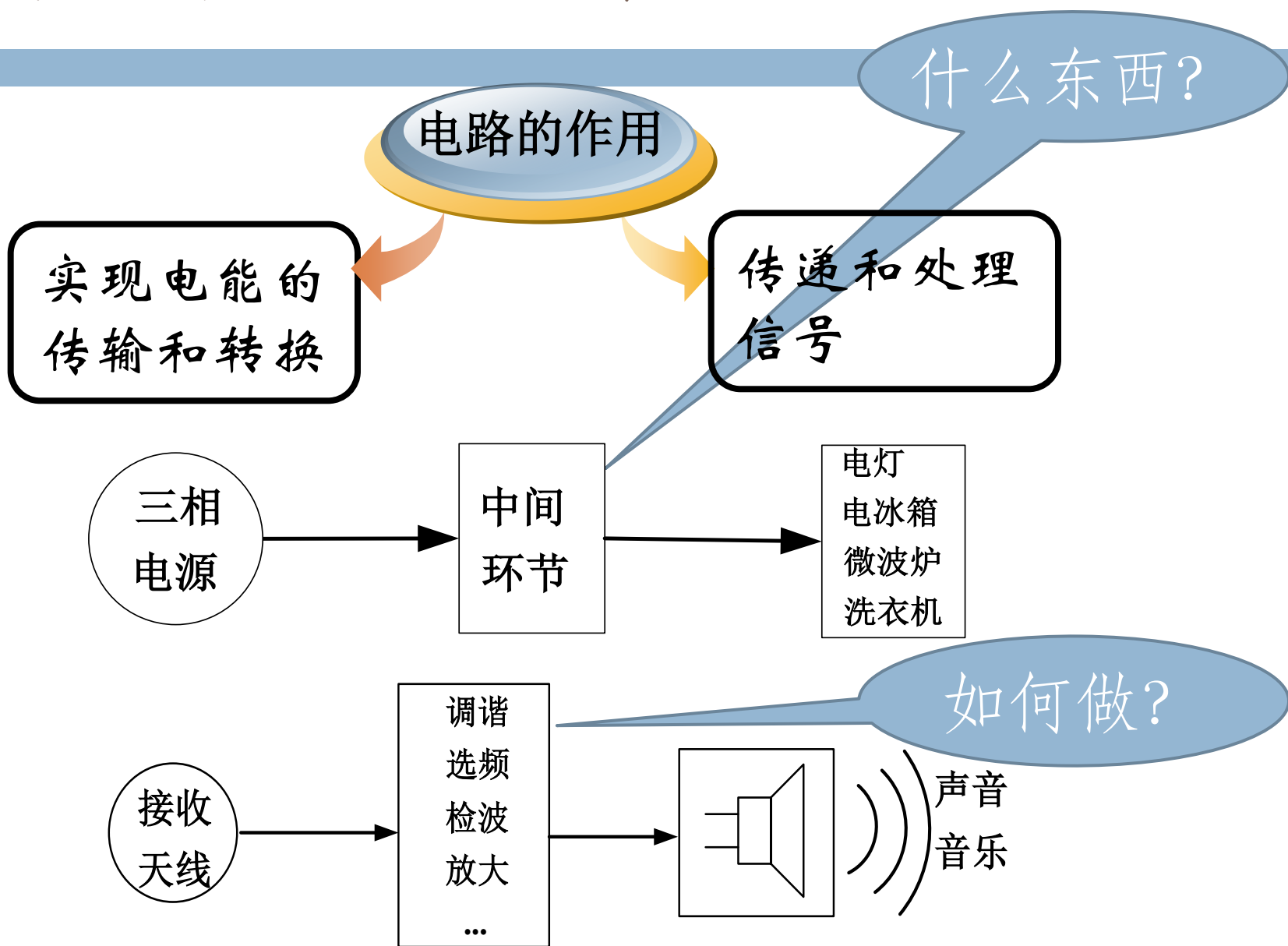
要求

- 电路的作用和组成部分
- 电路模型
- 电流和电压的参考方向
- 电路的基本定律与应用
 - 电阻的伏安关系
 - 电感的伏安关系
 - 电容的伏安关系
 - Kirchhoff's Law
- 电源及其等效模型
- 电路参数的计算
- 支路电流法
- 节点电压法

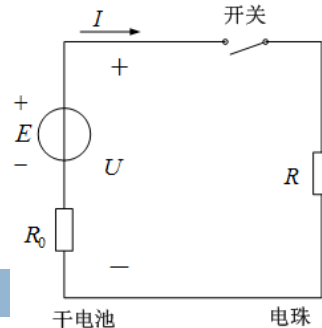
- 了解电路的基本知识
- 能抽象电路模型
- 熟悉电路的作用和组成
- 基本掌握电路的基本定律
- 了解电源的两种模型及等效变换掌握电路参数的计算
- 了解支路电流法
- 了解节点电压法



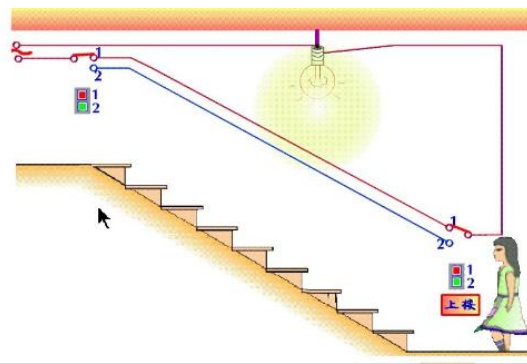
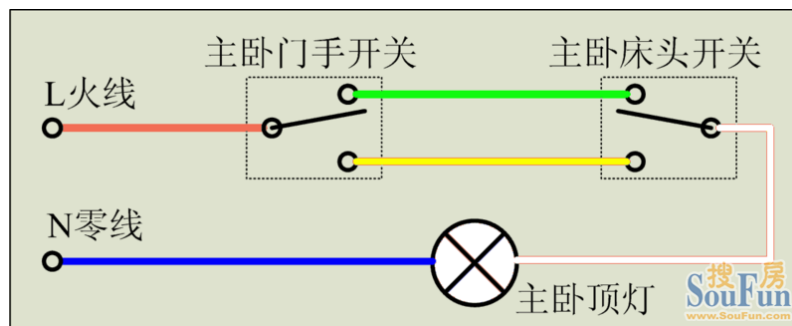
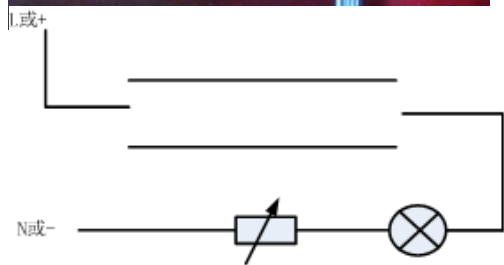
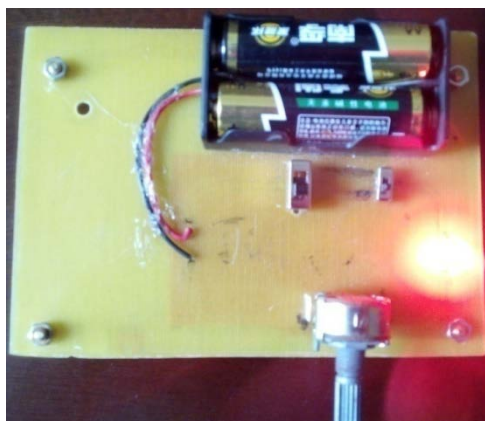
电路的作用和组成部分



电路模型

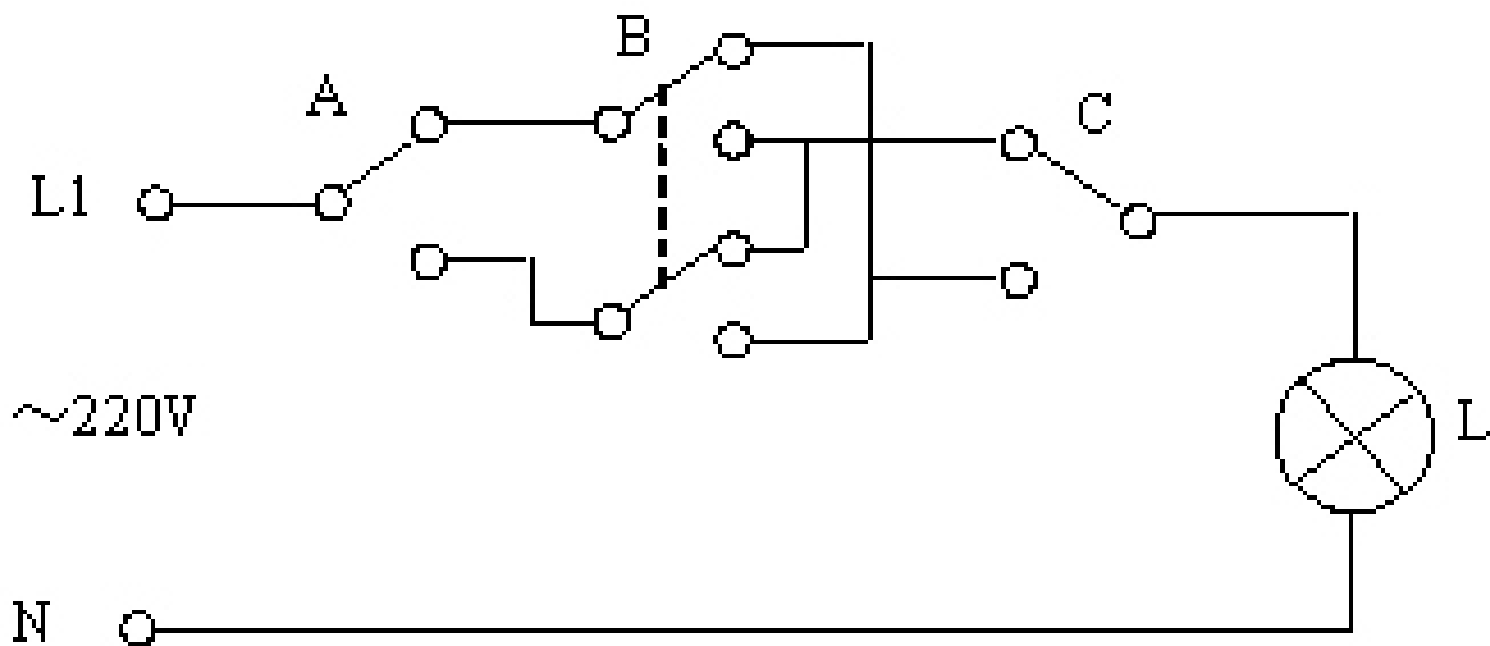


- 电路模型就是一种实体模型，它将实际元器件理想化(或称模型化)，是对实际电路的电磁性质进行科学抽象和概括而得到的实体模型。
- 你能画出双控可调光强灯的电路模型吗？



多地控一盏灯的接线图

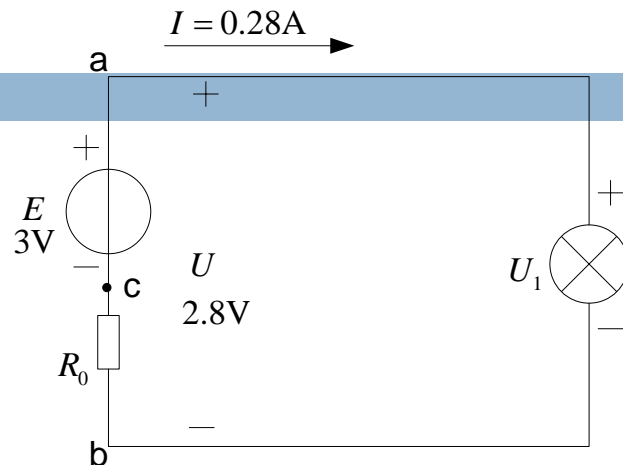
三地控一盏灯



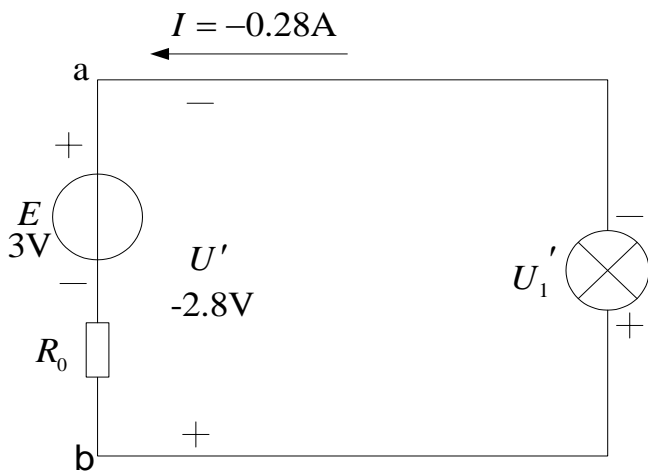
四、五、.....地控一盏灯呢？

电流和电压的参考方向*

- 电流的实际方向——正电荷运动的方向。
- 电流的**参考方向**——把电流看成是代数量（有正有负）。
- 电压的实际方向——高电位到低电位。
- 电压的**参考方向**——把电压看成是代数量（有正有负）。
- 参考方向——方便计算



a) 电压和电流的参考方向和实际方向相同



b) 电压和电流的参考方向和实际方向相反

电路基本定律*

- 欧姆定律 $U = RI \Leftrightarrow I = GU$
- 电感的伏安关系 (阻抗 $j\omega L$)

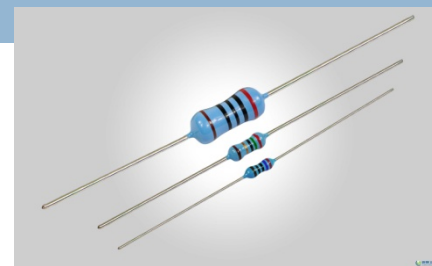
$$u = \frac{d\Psi}{dt} = L \frac{di}{dt} \Leftrightarrow i = i(t_0) + \frac{1}{L} \int_{t_0}^t u(\xi) d\xi$$

- 电容的伏安关系 (阻抗 $1/j\omega C$)

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \Leftrightarrow u = u(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i(\xi) d\xi$$

- Kirchhoff's Law 支路、回路、节点

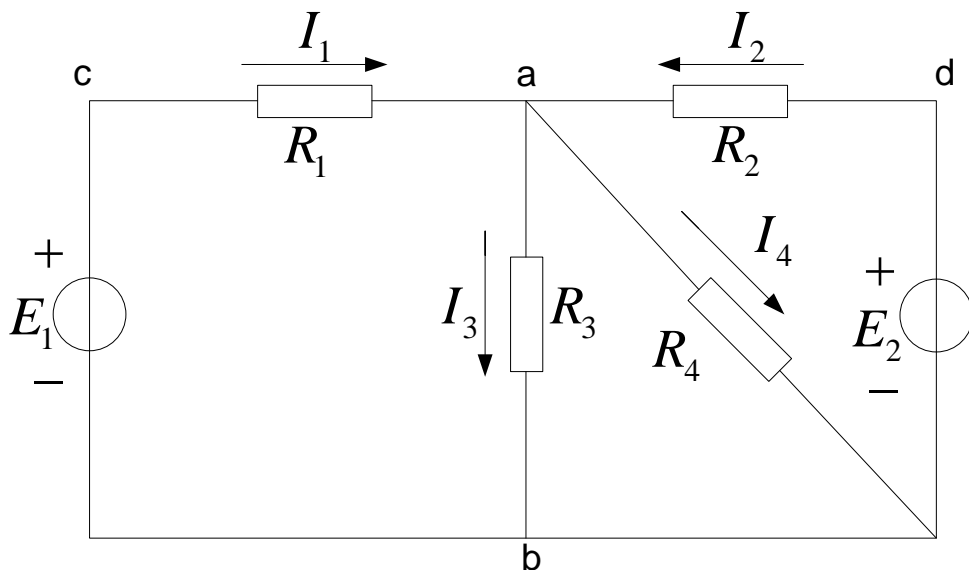
- 基尔霍夫电流定律——应用于节点
- 基尔霍夫电压定律——应用于回路。



$$\sum i = 0$$
$$\sum u = 0$$

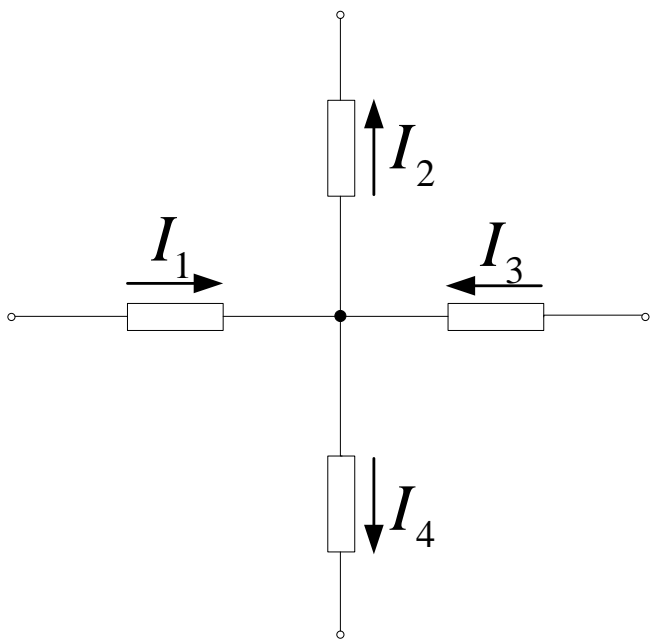
电路基本定律的应用—1*

- 例：电路如下图所示，试问每个电路各有多少条支路？多少个节点？多少个回路？



电路基本定律的应用—2*

□ 例：在图2-12中，设 $I_1 = 3\text{A}$, $I_2 = -6\text{A}$, $I_3 = -2\text{A}$,
试求 I_4 。

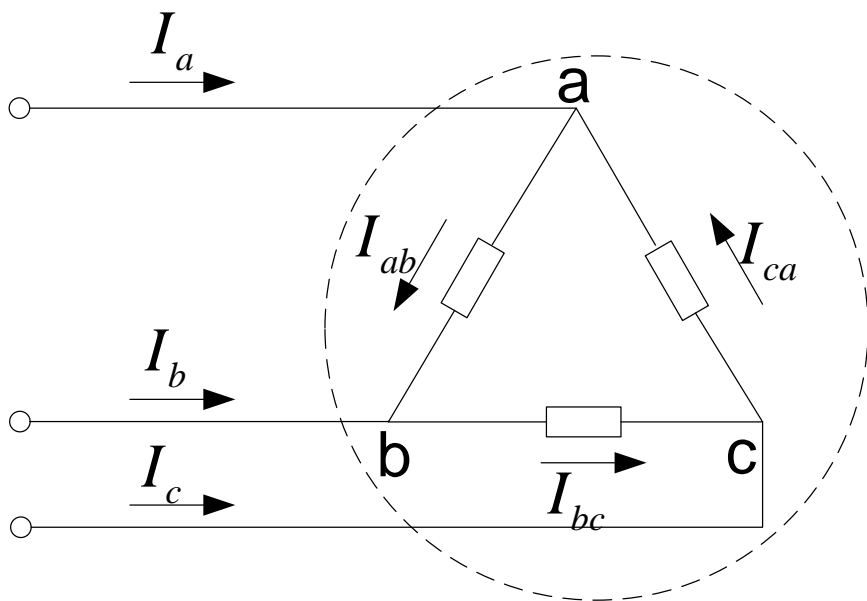


$$\begin{aligned} -I_1 + I_2 - I_3 + I_4 &= 0 \\ -3 - 6 - (-2) + I_4 &= 0 \end{aligned}$$

$$I_4 = 7\text{A}$$

电路基本定律的应用—3*

□ 例：电路如图2-12所示，设 $I_a = 2\text{A}$ $I_b = 3\text{A}$ ，试求 $I_c = ?$



$$I_{ab} - I_{ca} - I_a = 0$$

$$I_{bc} - I_{ab} - I_b = 0$$

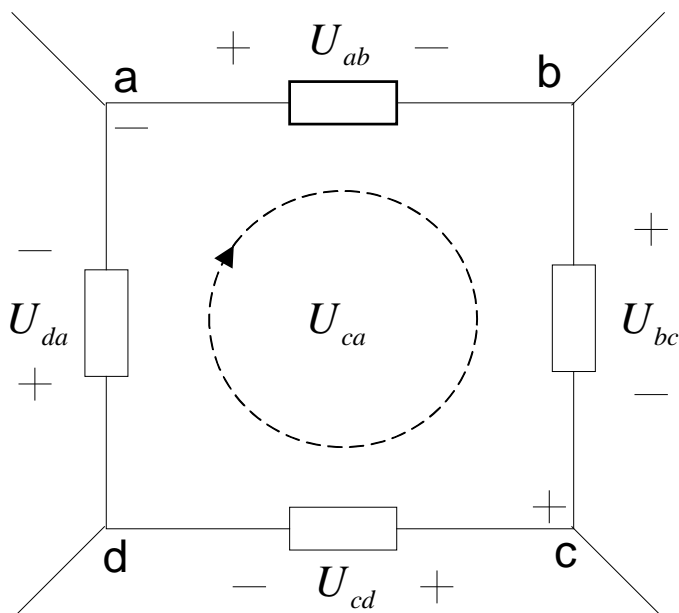
$$I_{ca} - I_{bc} - I_c = 0$$

$$-I_a - I_b - I_c = 0$$

$$I_c = -I_a - I_b = -2 - 3 = -5\text{A}$$

电路基本定律的应用－4*

- 例2-9 有一闭合回路如下图所示，各支路的元件是任意的，但已知： $U_{ab}=5\text{V}$, $U_{bc}=-4\text{V}$, $U_{da}=-3\text{V}$
- 试求 U_{cd} 和 U_{ac} 。



$$U_{ab} + U_{bc} + U_{cd} + U_{da} = 0$$

$$5 + (-4) + U_{cd} + (-3) = 0$$

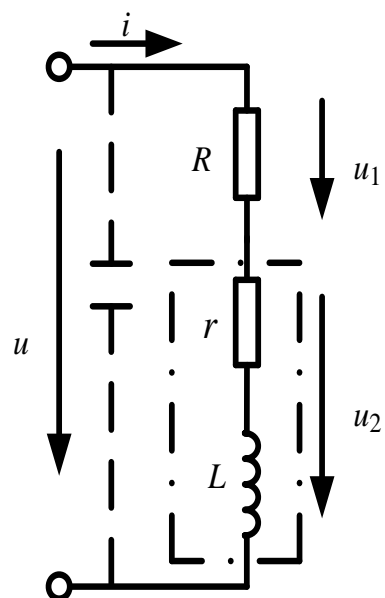
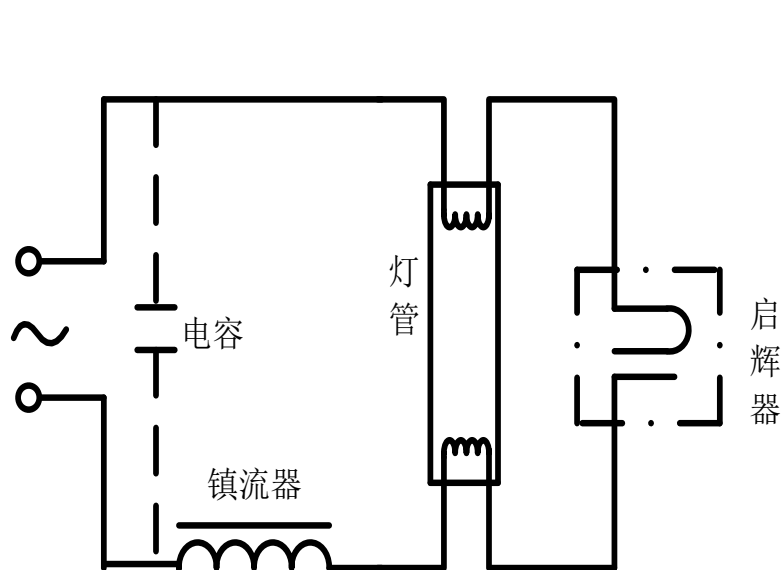
$$U_{cd} = 2\text{V}$$

$$U_{ab} + U_{bc} - U_{ac} = 0$$

$$5 + (-4) - U_{ac} = 0$$

$$U_{ac} = 1\text{V}$$

日光灯的电路-基本无源元件齐上阵



灯管在工作时可认为是一个电阻负载 R 。镇流器是一个交流铁心线圈，可等效为一个电感很大的感性负载（ r 、 L 串联）。灯亮后，启辉器就不起作用了

- 其工作原理：当接通220V交流电源时，电源电压通过镇流器施加于启辉器两电极上，使极间气体导电，可动电极（双金属片）与固定电极接触。由于两电极接触不再产生热量，双金属片冷却复原使电路突然断开，此时镇流器产生一较高的自感电动势经回路施加于灯管两端，而使灯管迅速起燃，电流经镇流器、灯管而流通。灯管起燃后，两端压降较低，启辉器不工作，日光灯正常工作。电容的作用是为了提高功率因数。

电路的基本定律的应用总结*

- KCL和KVL是分析电路的两个重要的定律，KCL在支路电流之间施加线性约束关系；KVL则对支路电压施加线性约束关系。这两个定律仅与元件的相互连接有关，而与元件的性质无关。
- 对一个电路应用KCL和KVL时，应对各节点和支路编号，并指定有关回路的绕行方向，同时指定各支路电流和支路电压的参考方向，一般两者取关联参考方向(即电流方向为元件的高电位流向低电位)。

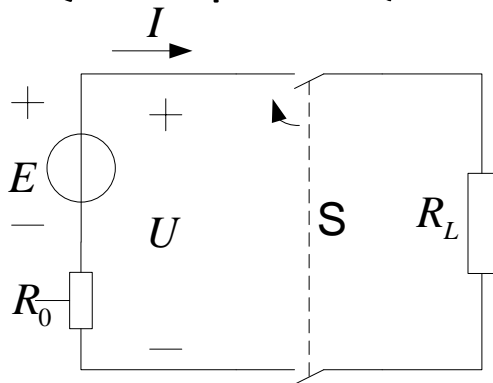
电源及其等效模型

- 电源工作方式
- 有载工作状态时的主要特点
- 电源与负载的判别
- 负载的额定值和实际值
- 电源开路与电源短路
- 电压源模型
- 电流源模型

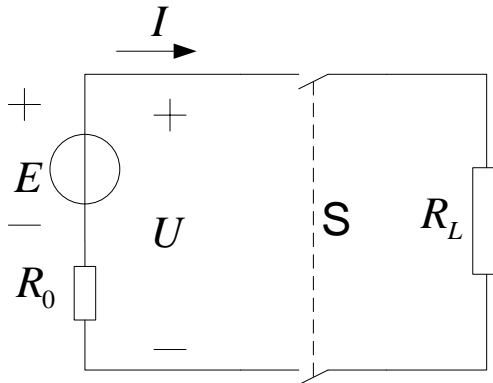


电源及其等效模型－1

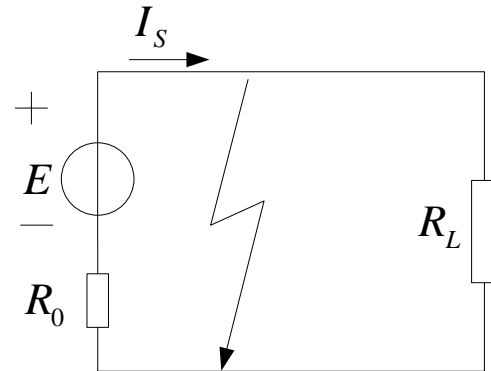
□ 电源工作方式



a) 电源有载工作



b) 电源开路



c) 电源短路

□ 有载工作状态时的主要特点

▣ 电路中的电流

$$I = \frac{E}{R_0 + R_L}$$

▣ 负载端电压

$$U = E - R_0 I$$

$$P = UI = (E - R_0 I) I$$

▣ 功率平衡

$$= EI - R_0 I^2 = P_E - \Delta P$$

电源及其等效模型—2

□ 电源与负载的判别

- 电源： U 和 I 的实际方向相反，电流从电压 “+” 端流出，发出功率 $UI < 0$
- 负载： U 和 I 的实际方向相同，电流从电压 “+” 端流入，消耗功率 $UI > 0$

□ 负载的额定值和实际值

- 额定值是制造厂家为了使产品能在给定的工作条件下正常运行而规定的正常允许值，由生产厂家标注在铭牌。电气设备的额定电压、额定电流、额定功率、功率因数分别用 U_N 、 I_N 、 P_N 、 $\cos\varphi$ 表示。

- 直流时，
$$P_N = U_N I_N$$

- 单相交流时
$$P_N = U_N I_N \cos\varphi$$

- 三相交流时
$$P_N = \sqrt{3} U_N I_N \cos\varphi$$



- 当电路中的实际值等于额定值时，电气设备的工作状态称为满载；大于额定值时称为过载；小于额定值时称为轻载。

电源及其等效模型—3

□ 电压源开路与电压源短路

开路状态时的主要特点

$$\begin{cases} I = 0 \\ U = E \\ P = IR_L = 0 \end{cases}$$

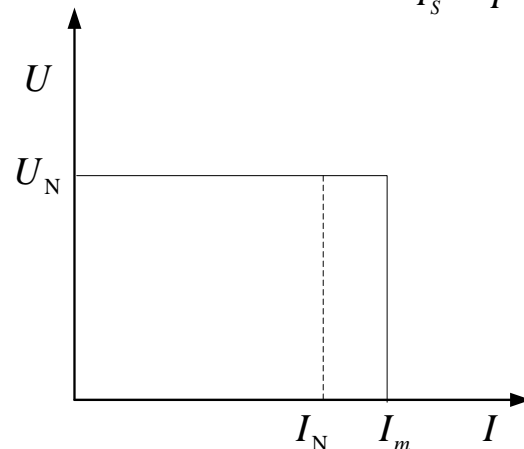
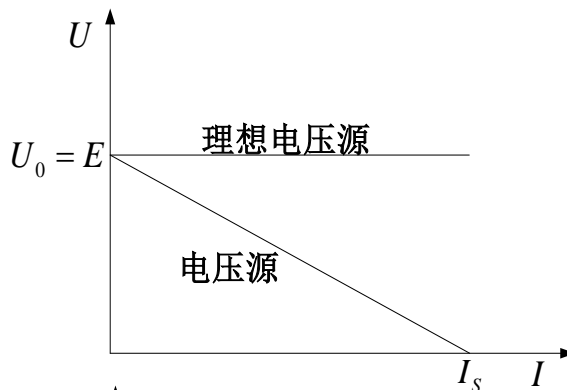
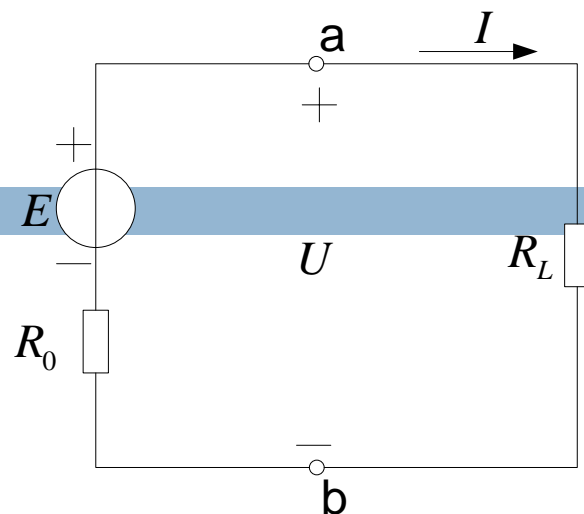
短路状态时的主要特点

$$\begin{cases} I_s = \frac{E}{R_0} \\ U = 0 \\ P = UI = 0 \\ \Delta P = R_0 I_s^2 \end{cases}$$

电源及其等效模型－4

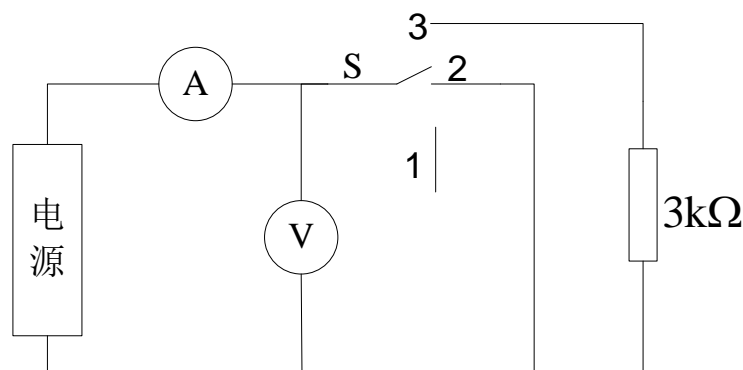
□ 电压源模型

- 电压源的内阻比负载电阻小很多，则可近似为理想电压源。
- 在实际应用中，直流稳压电源在工作电流小于或等于额定电流时，其内阻很小，可认为是理想的；
- 当直流电源工作电流大于额定电流，而小于最大的电流时，输出电压有很小的变化，但仍可视为一理想电压源。

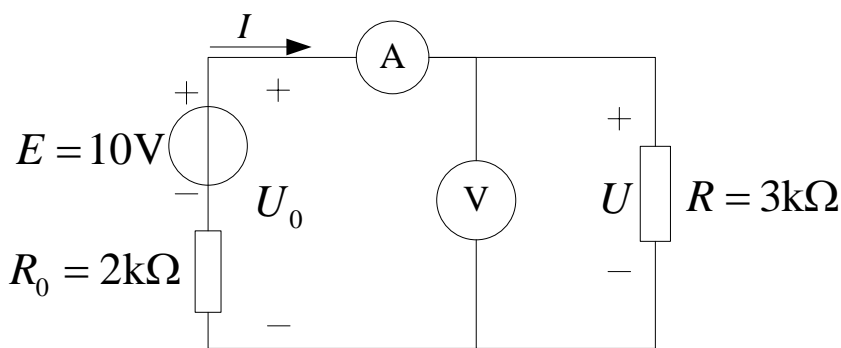


电源及其等效模型—5

- 例：如下电路，电压表的内阻可看作为无穷大，电流表的内阻为零。当开关 S 处于位置1时，电压表的读数为10V；当 S 处于位置2时，电流表的读数为5mA。试求当 S 处于位置3时，电压表和电流表的读数各位多少？



a) 电路图



b) 等效电路

当 S 处于1时: $E = 10\text{V}$

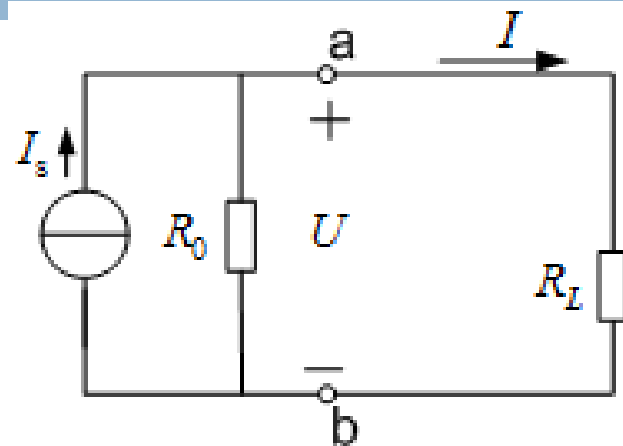
当 S 处于2时: $R_0 = \frac{E}{I_s} = \frac{10}{5 \times 10^{-3}} = 2\text{k}\Omega$

$$I = \frac{E}{R_0 + R} = \frac{10}{2 \times 10^3 + 3 \times 10^3} = 2\text{mA}$$

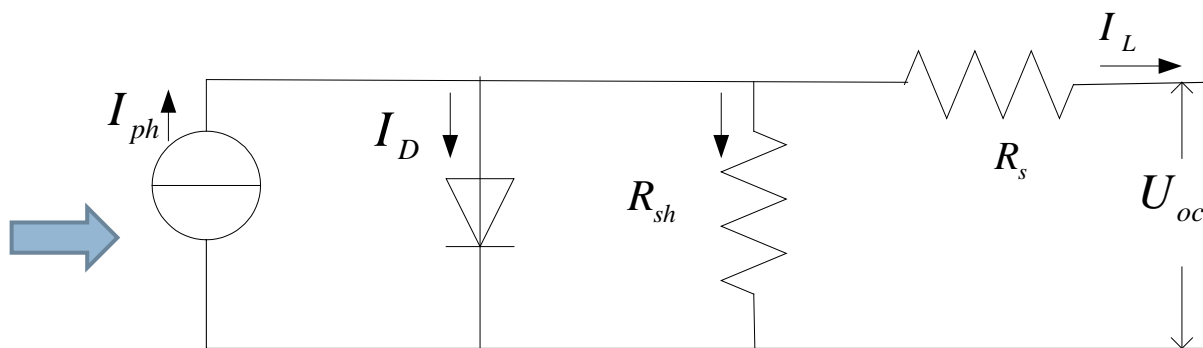
$$U = IR = 2 \times 10^{-3} \times 3 \times 10^3 = 6\text{V}$$

想一想——你肯定见过的

□ 电压源的对偶源是？ 电流源



□ 你能举出电流源的例子吗？ 太阳能电池



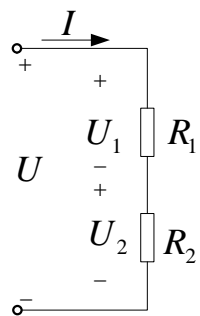
电路参数的计算

□ 电位的概念及计算

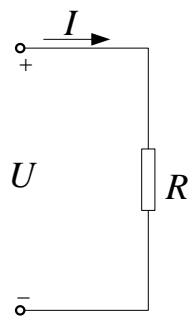
- 在电路中，指定某点为电压的参考零点，其他各点的电位都同参考点相比较，所得到的电压差即为该点的电位。
- 选择参考点便于比较与计算
- 电子线路中通常选取直流电源的**地**为参考点，电气控制线路中则选取零线N为参考点。



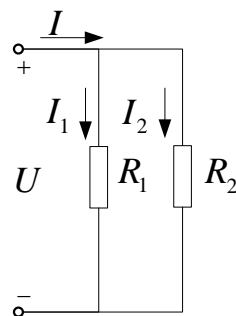
□ 电阻的串并联



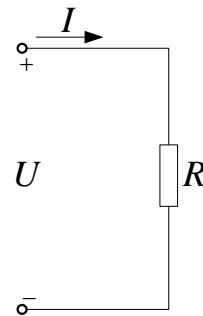
a) 电阻串联



b) 等效电阻



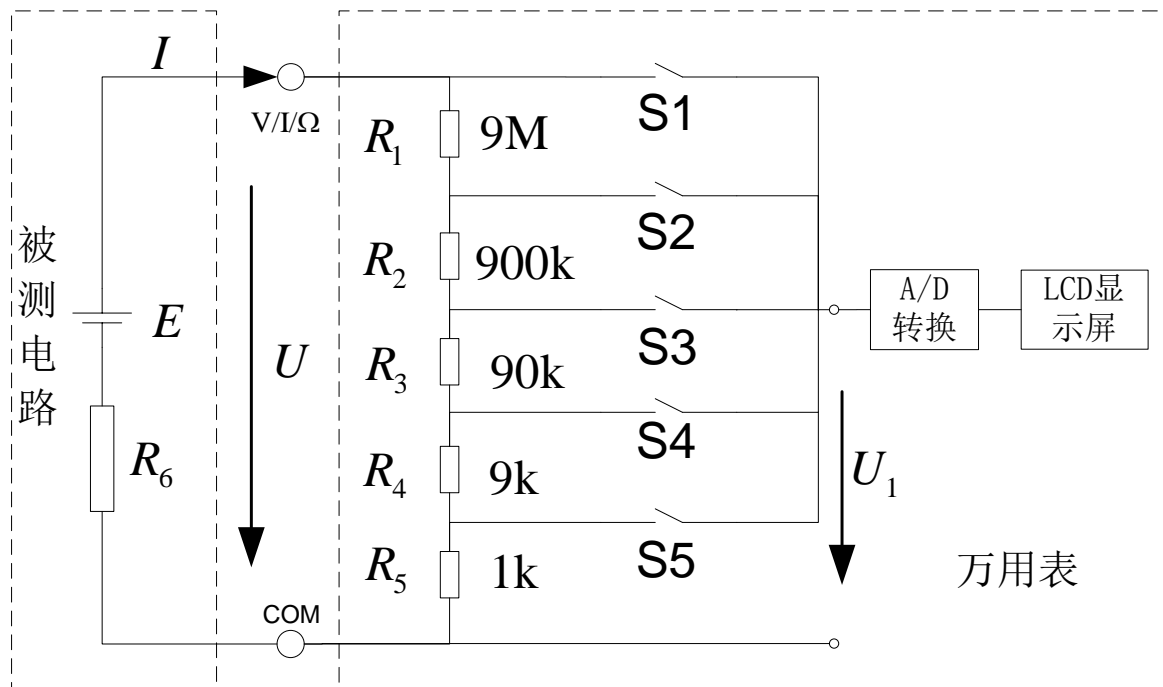
a) 电阻并联



b) 等效电阻

电路参数的计算例子*

□ 例：3 $\frac{1}{2}$ 位数字万用表测量直流电压输入部分等效电路如下图所示。



◆ 3 $\frac{1}{2}$ 位：整数位表示能显示 0~9 所有数字的位数，分数 (1/2) 表示最高位的实际最大值、理论最大值。

◆ A/D 转换：Analog/Digital

◆ LCD 是人机界面，是要靠程序驱动显示的。

◆ $S_1 \sim S_5$ 某一开关闭合表示了不同的档位或测量量程。这一点我们可以分析一下。

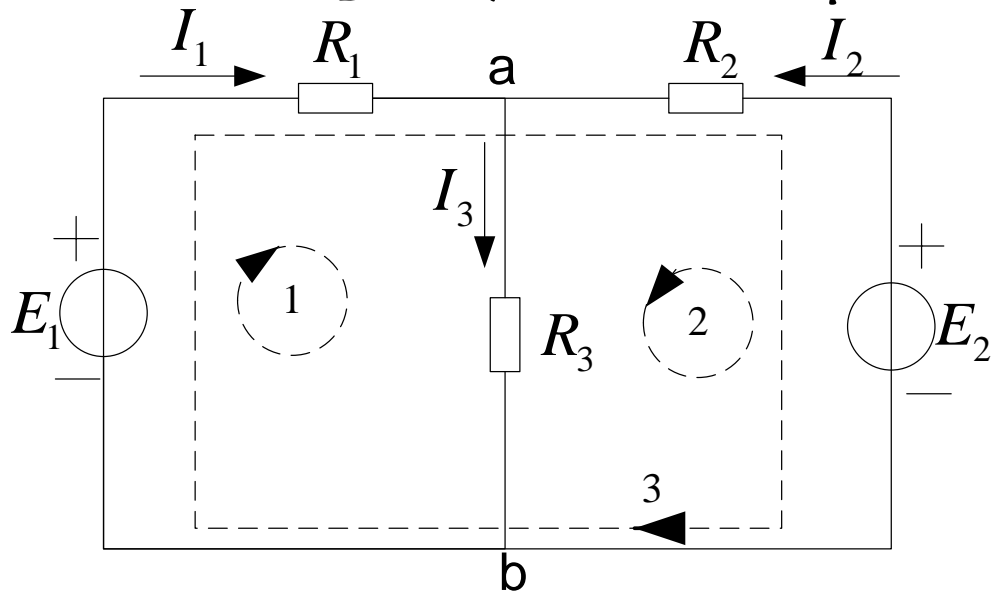
电路参数的计算例子

- 例：一只110V/8W的电灯，要接在中国家庭用电系统中，求需要串联多大的电阻？

1.5125k Ω

支路电流法的基本思想*

- 支路电流法是以支路电流为未知量，直接利用KCL和KVL分别对电路中的**节点和回路**列出独立方程。并使独立方程的个数与支路电流数相等，通过解方程组得到支路电流，进而求出电路中的其他物理量。



$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ R_1 I_1 + R_3 I_3 - E_1 = 0 \\ R_2 I_2 + R_3 I_3 - E_2 = 0 \end{cases}$$

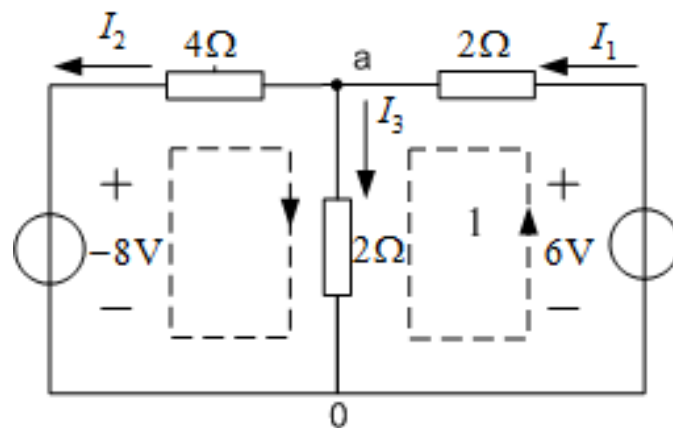
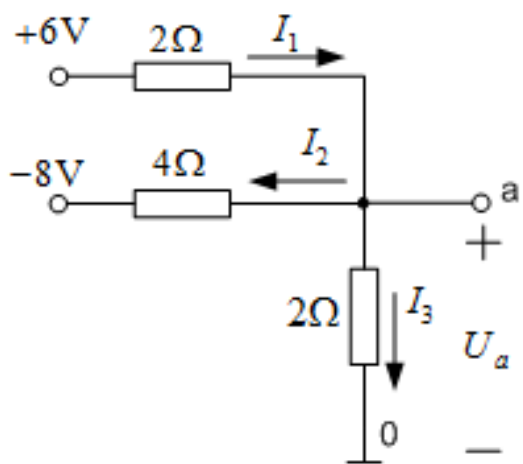
支路电流法的步骤

□ 对于一个有 n 个节点、 b 条支路的电路，可列出 $n-1$ 个独立的 KCL 方程， $b-(n-1)$ 个独立的 KVL 方程。因而一共可列出 b 个独立的方程，所以可求解 b 条支路的电流。归纳出支路电流法的解题步骤：

- (1) 标出待求支路电流的参考方向和回路的绕行方向。
- (2) 判定电路的支路数 b 和节点数 n 。
- (3) 根据 KCL 列出 $n-1$ 个独立的节点电流方程式。
- (4) 根据 KVL 列出 $b-(n-1)$ 个独立回路的电压方程式。
- (5) 联立方程组，求解各支路电流。

支路电流法的应用*

- 例：下图中，0是两个电源的公共地端，应用支路电流法求各支路的电流和a点的电位 U_a



对节点a列KCL方程：

$$I_2 + I_3 - I_1 = 0$$

对回路1列KVL方程：

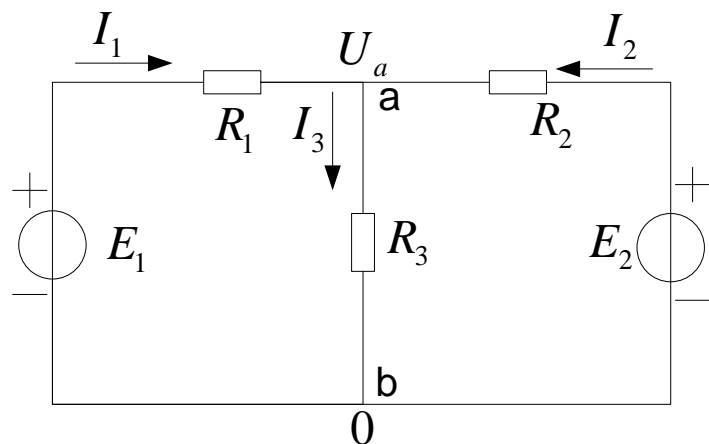
$$2I_1 + 2I_3 - 6 = 0$$

对回路2列KVL方程：

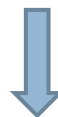
$$-4I_2 + 2I_3 - (-8) = 0$$

节点电压法基本思想*

- 在给定的电路中，任取一个节点作为**参考零点**，其他各节点与该节点相比较，得到该节点的节点电压。节点电压法是以**电路中节点的电压为未知量**，利用节点电压列出各节点的KCL方程，再将各个KCL方程联立成一个方程组，求解这各个节点的电压，进而求解电路中其他的物理量。



$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{E_1 - U_a}{R_1} \quad I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{E_2 - U_a}{R_2} \quad I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{U_a}{R_3}$$



对节点a: $I_3 - I_1 - I_2 = 0$



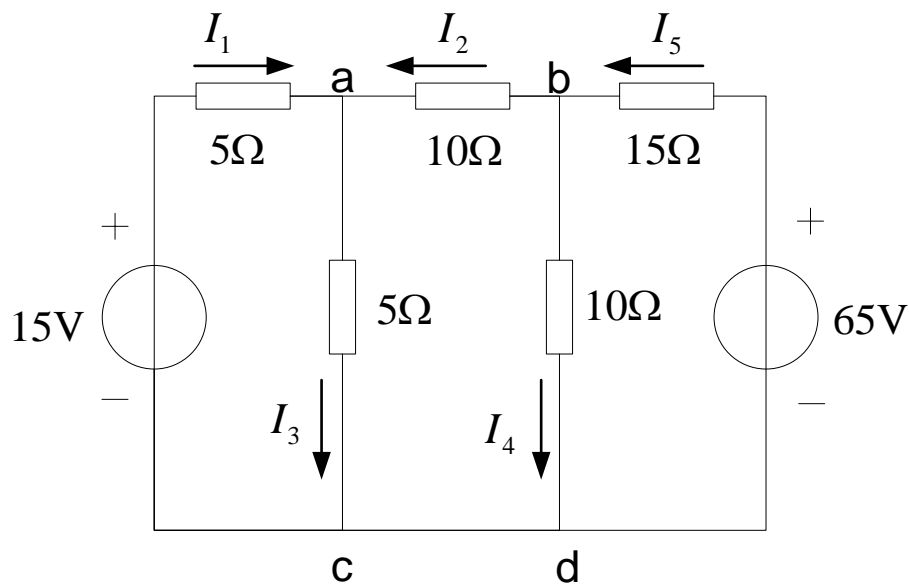
$$\frac{E_1 - U_a}{R_1} + \frac{E_2 - U_a}{R_2} - \frac{U_a}{R_3} = 0$$

节点电压法的步骤

- 对于一个有 n 个节点、 b 条支路的电路，任意选取一个参考点之后，利用节点电压可列出 $n-1$ 个独立的KCL方程，联立这些KCL方程，可解出除参考点之外的 $n-1$ 个节点电压。归纳出节点电压法解题的步骤：
 - (1) 标出各支路电流的参考方向。
 - (2) 合理的选取一个节点为参考零点，标出其他 $n-1$ 个节点的电压。
 - (3) 写出 $n-1$ 个节点的KCL方程。
 - (4) 利用节点电压，计算出各支路电流，并代入KCL方程。
 - (5) 联立KCL方程组，求解各节点电压。

节点电压法的应用*

□ 例：已知电路如下，求各支路电流。



对节点a列KCL方程得：

$$I_3 - I_1 - I_2 = 0$$

对节点b列KCL方程得：

$$I_4 + I_2 - I_5 = 0$$

$$\frac{U_a}{5} - \frac{15 - U_a}{5} - \frac{U_b - U_a}{10} = 0$$

$$\frac{U_b - U_a}{10} + \frac{U_b}{10} - \frac{65 - U_b}{15} = 0$$

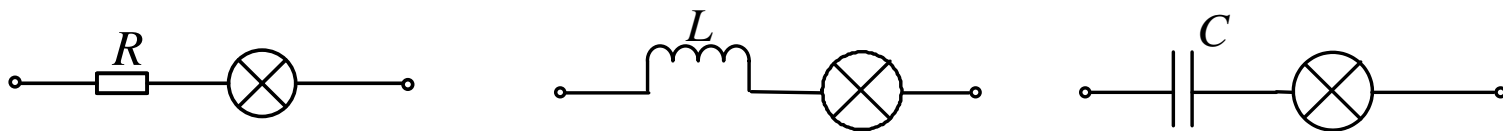
根据欧姆定律得：

$$I_1 = \frac{15 - U_a}{5}, \quad I_2 = \frac{U_b - U_a}{10}, \quad I_3 = \frac{U_a}{5}, \quad I_4 = \frac{U_b}{10}, \quad I_5 = \frac{65 - U_b}{15}$$

基本动态电路-1

□ 过渡过程(暂态过程)的解释

□ 形象展示过渡过程



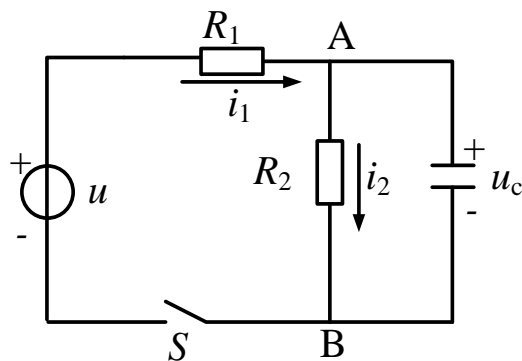
□ 换路定律

■ 设电路在时刻换路，换路前（表示换路前的终了瞬间）时刻与换路后（表示换路后的初始瞬间）时刻，电容的电压值与电感的电流值应连续变化

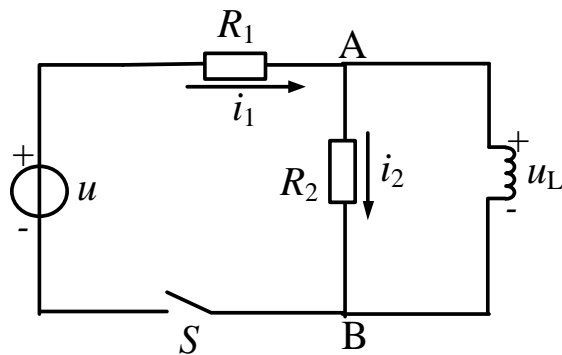
$$u_C(0_+) = u_C(0_-) \qquad i_L(0_+) = i_L(0_-)$$

基本动态电路-2

□ 电容的充电过程



□ 电感的储能过程



基本电路在测量领域的典型应用

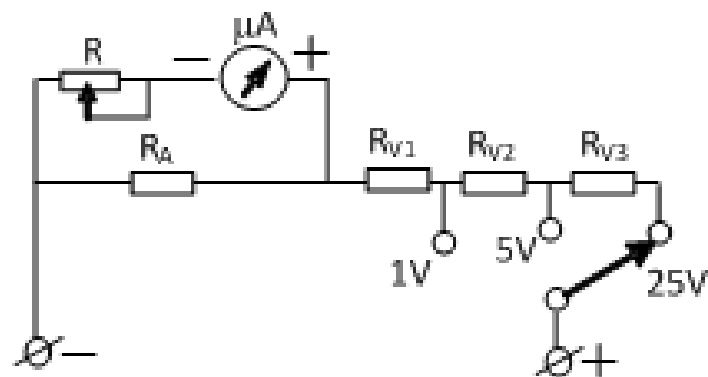
- 电阻、电压、电流的一般测量----后面还将提到



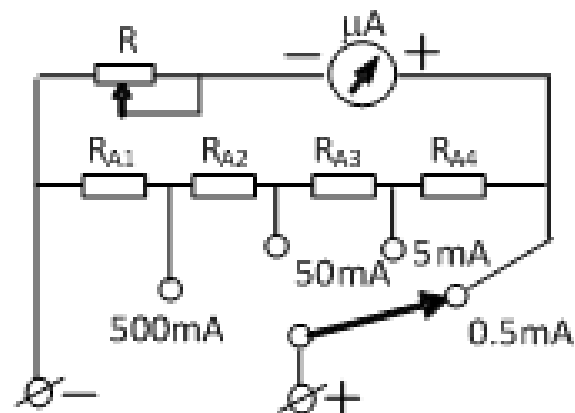
- 电阻、电感、电容的电桥测量



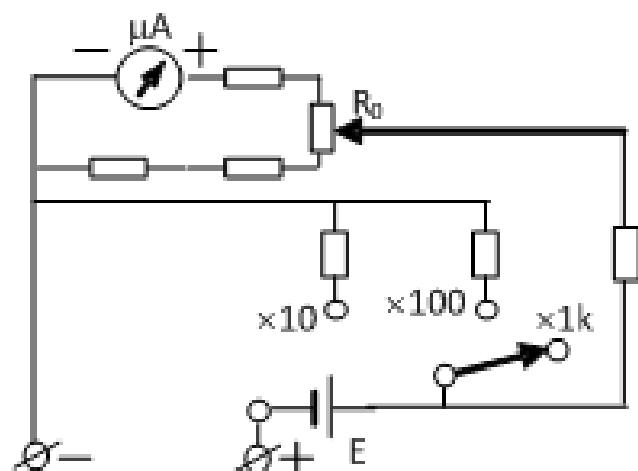
电阻、电压、电流的一般测量电路



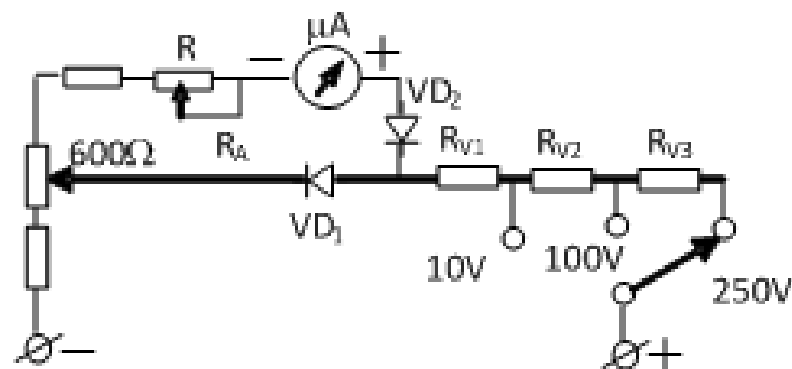
直流电压测量原理电路



直流电流测量原理电路



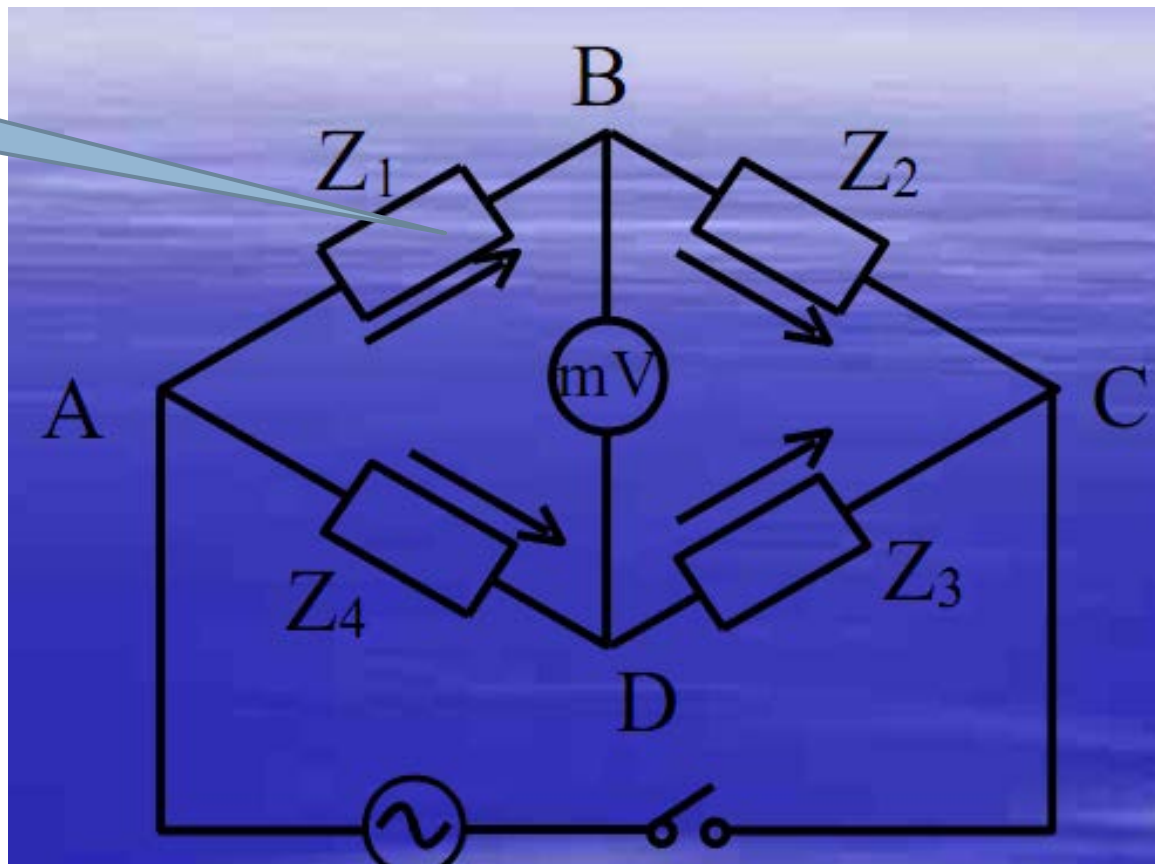
电阻测量原理电路



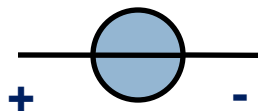
交流电压测量原理电路

电阻、电感、电容的电桥测量

待测 Z_x



交流电桥可测三种



直流电桥---只测电阻

以后你能做什么？ --事情并不是难

- 自己造一个测量电阻、电流和电压的仪表
 - ▣ 需要什么？
 - ▣ 在哪里购买？
 - ▣ 多少钱？
 - ▣ 是否能承担？



明白事理

- 复杂是由简单构成的
- 分而治之
- 整体与部分的关系
- 万变不离其中
- 建立起基本概念与常识，循序渐近的学习

